

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-334695

(43)公開日 平成8年(1996)12月17日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 2 B 17/08

識別記号 庁内整理番号

F I  
G 0 2 B 17/08

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数15 OL (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平8-30978

(22)出願日 平成8年(1996)2月19日

(31)優先権主張番号 特願平7-82380

(32)優先日 平7(1995)4月7日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 高橋 友刀

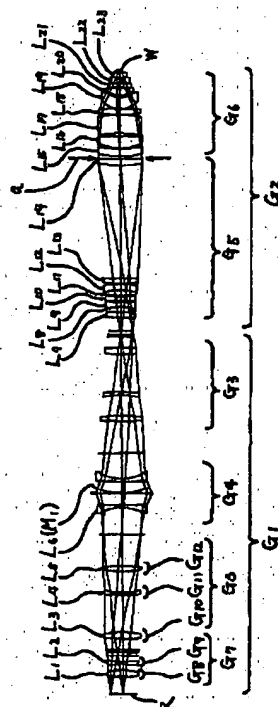
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 反射屈折光学系

(57)【要約】

【課題】光学系の性能を劣化させることなく、凹面鏡の口径の小径化を達成する。

【解決手段】第1面の中間像を形成する第1結像光学系の中の正の屈折力を有する第3レンズ群G3を、少なくとも、前記第1面側から順に、正の屈折力を有する第10レンズ群G10と、負の屈折力を有する第11レンズ群G11と、正の屈折力を有する第12レンズ群G12と、を含むように構成し、また第4レンズ群G4を、凹面鏡と前記第1面側に凹面を向けた負レンズ成分とを有するように構成し、前記第1面からの光を、前記第10レンズ群G10、前記第11レンズ群G11、前記第12レンズ群G12、前記第4レンズ群G4、前記第12レンズ群G12、前記第11レンズ群G11、前記第10レンズ群G10の順に導き、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との合成倍率は縮小倍率である反射屈折光学系を提供する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】第1面の中間像を形成する第1結像光学系と、

前記中間像の像を第2面上に形成する第2結像光学系と、

前記第1結像光学系から前記第2結像光学系へ到る光路中に配置され、前記第1結像光学系からの光を前記第2結像光学系へ導く光路偏向部材とを有し、

前記第1結像光学系は、少なくとも、全体として正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、凹面鏡と前記第1面側に凹面を向けた負レンズ成分とを有する第4レンズ群G4と、を有し、

前記第3レンズ群G3は、少なくとも、前記第1面側から順に、正の屈折力を有する第10レンズ群G10と、負の屈折力を有する第11レンズ群G11と、正の屈折力を有する第12レンズ群G12と、を含み、

かつ前記第1面からの光を、前記第10レンズ群G10、前記第11レンズ群G11、前記第12レンズ群G12、前記第4レンズ群G4、前記第12レンズ群G12、前記第11レンズ群G11、前記第10レンズ群G10の順に導き、

前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との合成倍率は縮小倍率であることを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項2】前記第1結像光学系は縮小倍率を有し、前記第2結像光学系は縮小倍率を有することを特徴とした請求項1記載の反射屈折光学系。

【請求項3】前記第2結像光学系は、正屈折力の第5レンズ群G5と、正屈折力の第6レンズ群G6と、を有することを特徴とする請求項1又は2記載の反射屈折光学系。

【請求項4】前記第5レンズ群G5と前記第6レンズ群G6との間の光路中には、開口絞りが配置されることを特徴とする請求項3記載の反射屈折光学系。

【請求項5】前記第1結像光学系は、前記第1面と前記第3レンズ群G3との間の光路中に配置された第7レンズ群G7を有し、

該第7レンズ群G7は、前記第1面側から順に、正屈折力の前群と、負屈折力の後群とを有することを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項6】前記第1面上の物体の高さをY0とし、前記第1結像光学系によって結像される前記中間像の像高をY1とするとき、

$$0.4 < |Y0/Y1| < 1.2$$

を満足することを特徴とする請求項1乃至5の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項7】前記第2結像光学系を構成する光学材料は、互いに分散値の異なる少なくとも二種類の光学材料であることを特徴とする請求項1乃至5の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項8】前記第2結像光学系中の前記第5レンズ群G5は、高分散ガラスから構成される負レンズ成分と、低分散ガラスから構成される正レンズ成分とを含み、前記第2結像光学系中の前記第6レンズ群G6は、低分散ガラスから構成される正レンズ成分を含むことを特徴とする請求項1乃至5の何れか一項又は請求項7記載の反射屈折光学系。

【請求項9】前記第1面と前記第2面とを平行にするために、前記第1面と前記第1結像光学系中の前記第3レンズ群G3との間には、前記第1面からの光を偏向させる第2の光路偏向部材が配置されることを特徴とする請求項1乃至8の何れか一項記載の反射屈折光学系。

【請求項10】前記第1面の法線と前記第2面の法線とが重力方向に対して直角をなすように配置したことを特徴とする請求項9記載の反射屈折光学系。

【請求項11】前記第1面と前記第2面との配置を平行にするために、前記第2結像光学系中の前記第5レンズ群G5及び前記第6レンズ群G6の間には、光路偏向部材が配置されることを特徴とする請求項1乃至請求項8の何れか一項記載の反射屈折光学系。

【請求項12】前記第1面と前記第2面とを水平に配置し、且つ前記第1面を前記第2面よりも上方に配置したことを特徴とする請求項12記載の反射屈折光学系。

【請求項13】前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に形成される中間像の位置に、前記第2面上の像形成領域の大きさが可変となる視野絞りを設けたことを特徴とする請求項1乃至12の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項14】前記第1結像光学系中の前記凹面鏡の付近、又は前記第2結像光学系の光路中に、特殊フィルターを設けたことを特徴とする請求項1乃至13の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項15】前記第2結像光学系の光路中、又は前記第1結像光学系中の前記凹面鏡の付近に、開口絞りが配置されることを特徴とする請求項14記載の反射屈折光学系。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用されるステッパー等の投影露光装置の投影光学系に関する。特に、本発明は、光学系の要素として反射系を用いた反射屈折投影光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、レチクル（又はフォトマスク等）のパターン像を投影光学系を介して例えば1/4～1/5程度に縮小して、フォトリソ等が塗布されたウェハ（又はガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。投影露光装置として

は、従来は主にステッパーのような一括露光方式が使用されていた。

【0003】近年、半導体の製造や半導体チップ実装基板の製造ではますます微細化しており、これらのパターンを焼き付ける露光装置は、より解像力の高いものが要求されている。この要求を満足するためには、露光用の光源の波長（露光波長）を短波長化するか、又は投影光学系の開口数NAを大きくしなければならない。しかしながら、露光波長が短くなると照明光の吸収のため実用に耐える光学ガラスに限られており、屈折系のみで投影光学系を構成することは困難である。特に、波長が300nm以下となると、実用上使用できる硝材は、合成石英と螢石とのみになってしまう。

【0004】一方、反射系のみで投影光学系を構成することも試みられているが、この場合、投影光学系が大型化し、且つ反射面の非球面化が必要となる。ところが、大型の高精度の非球面を製作するのは極めて困難である。そこで、反射系と使用される露光波長に耐える光学ガラスからなる屈折系とを組み合わせたいわゆる反射屈折光学系で投影光学系を構成する技術が種々提案されている。

【0005】その一例として、凹面鏡を1枚含む光学系と屈折光学系とを組み合わせることで所定の縮小倍率のもとでレチクルの像を投影する反射屈折光学系が、例えば米国特許第4,779,966号公報、特開平4-234722号公報に開示されている。上記米国特許第4,779,966号公報に開示される反射屈折光学系は、物体側から順に、屈折光学系と、この屈折光学系による中間像を再結像させる反射屈折光学系とから構成されている。

【0006】また、特開平4-234722号公報に開示される光学系は、物体側から順に、完全対称型の反射屈折光学系と、この反射屈折光学系による中間像を縮小倍率のもとで再結像させる屈折光学系とから構成されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記米国特許第4,779,966号公報及び特開平4-234722号公報に開示される反射屈折光学系では、凹面鏡を含む反射屈折光学系中の屈折光学部材として、負屈折力のレンズ成分のみを用いていた。従って、物体（中間像）から凹面鏡へ達する光束の光束径は拡大される一方であるため、凹面鏡自体の口径の小型化を図ることが困難であった。

【0008】上述の問題点に加えて、特に上記米国特許第4,779,966号公報に開示される反射屈折光学系において、像側の開口数を上げると考えると、像側に近い光学系の開口数を上げざるを得ない。このときには、像側に配置される反射屈折光学系中の凹面鏡に入射させる光束の径を拡大させる必要があるため、この凹面鏡の口径が大型化する問題点がある。さらに、米国特

許第4,779,966号公報に開示される反射屈折光学系では、縮小倍率の関係から凹面反射鏡M<sub>2</sub>からウェハに到る光路が長く取れないため、この光路中に配置される屈折レンズのレンズ枚数を多くすることができず、十分な結像性能が得られにくいという不都合があった。また、このため、最もウェハ側の光学素子の端面とウェハとの距離、即ちウェハ側の作動距離（ワーキングディスタンス）が長く取れないという不都合があった。

【0009】また、特開平4-234722号公報に開示された反射屈折光学系では、往路と復路とが兼用となる光学系が完全対称型の光学系を構成しており、その光学系での収差発生を極力抑え、後に続く屈折光学系の収差補正負担を軽くしているものであるが、対称型光学系を構成しているため、第1面付近での作動距離（ワーキングディスタンス）が長く取れないという不都合があった。

【0010】以上のことに鑑み、本発明は、光学系の性能を劣化させることなく、凹面鏡の口径の小径化を達成することを目的とする。更に、本発明は、凹面鏡の口径の小径化を達成しつつ、作動距離を十分に確保し、高い開口数を実現することを第2の目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明では、第1面の中間像を形成する第1結像光学系と、前記中間像の像を第2面上に形成する第2結像光学系と、前記第1結像光学系から前記第2結像光学系へ到る光路中に配置され、前記第1結像光学系からの光を前記第2結像光学系へ導く光路偏向部材とを有し、前記第1結像光学系は、少なくとも、全体として正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、凹面鏡と前記第1面側に凹面を向けた負レンズ成分とを有する第4レンズ群G4と、を有し、前記第3レンズ群G3は、少なくとも、前記第1面側から順に、正の屈折力を有する第10レンズ群G10と、負の屈折力を有する第11レンズ群G11と、正の屈折力を有する第12レンズ群G12と、を含み、かつ前記第1面からの光を、前記第10レンズ群G10、前記第11レンズ群G11、前記第12レンズ群G12、前記第4レンズ群G4、前記第12レンズ群G12、前記第11レンズ群G11、前記第10レンズ群G10の順に導き、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との合成倍率は縮小倍率である反射屈折光学系を提供する。

【0012】

【発明の実施の形態】上述の構成の如き本発明によれば、凹面鏡の前側に配置される第3レンズ群G3が正の屈折力を有しているため、第1面から発した光束に収束作用を及ぼし、第4レンズ群G4に入射する光束が絞り込まれる。これにより、第4レンズ群G4中の凹面鏡は、小型化が達成される。また、第3レンズ群G3を正の屈折力の第10レンズ群G10、負の屈折力の第11

レンズ群G11、正の屈折力の第12レンズ群G12と構成することにより、諸収差を良好に補正することができる。更に、この上述の構成により、第1結像光学系の長さを短くすることも可能である。

【0013】また、本発明では、上述の構成により、第1面付近の作動距離を大きくすることができるため、光路偏向部材が容易に挿入可能となる。ここで、光路偏向部材は単に光路を折り曲げる機能のみを持つようにすることが、好ましい。このような光路偏向部材とすれば、ビームスプリッタの如く光束を分離する光路偏向部材の機能を持たせる必要がないため、光量損失をほぼ0%に抑えることが可能となり、フレアーの発生も極めて少なくできる利点が生じる。単に光路を折り曲げる機能のみを持つ光路偏向部材では、ビームスプリッタを用いる場合において発生するビームスプリッタの光分割面の特性の不均一性による収差の発生や、熱吸収により光分割面の特性が変化することによる収差の発生は、生じない。

【0014】ここでは、光路偏向部材を第1結像光学系が形成する中間像の近傍に配置することがさらに好ましい。この構成により、光路を折り曲げる際の偏心誤差の影響を非常に少なくできる。例えば、光路偏向部材に角度誤差が生じている場合には、第1結像光学系に対する第2結像光学系の偏心を招くことになるが、この結果としては、第2面上に形成される像が第1面に対してシフトするだけになり、結像性能に対する影響はほとんど生じない。

【0015】本発明では、第2結像光学系中に凹面鏡を持たない構成であるため、高い開口数のもとでも、像側の作動距離を十分に確保することができる。また、本発明においては、第2結像光学系は、正屈折力の第5レンズ群G5と、正屈折力の第6レンズ群G6とを有する構成が好ましい。そして、本発明においては、これらの第5レンズ群G5と第6レンズ群G6との間の光路中に開口絞りを配置する構成をとることが好ましい。この開口絞りを可変開口絞りとすれば、コヒーレンスファクタ(σ値)を調整できる。

【0016】ここで、焦点深度を深くして且つ解像力を上げる一つの手法として、例えば特公昭62-50811号公報において、レチクルのパターン中の所定部分の位相を他の部分からずらす位相シフト法が提案されている。本発明においては、コヒーレンスファクタ(σ値)を調整することが可能であるため、この位相シフト法の効果をさらに向上できる利点がある。

【0017】本発明では、前記第1結像光学系は縮小倍率を有し、前記第2結像光学系は縮小倍率を有することが好ましい。この様な屈折力の配置によって、光学系を無理なく構成することができる。また、本発明においては、第1結像光学系は、第1面と第3レンズ群G3との間の光路中に配置された第7レンズ群G7を有するように構成されることが好ましい。この第7レンズ群G7

は、第1結像光学系及び第2結像光学系では補正しきれない非対称収差、特に歪曲収差、倍率色収差を良好に補正する機能を有する。そして、この第7レンズ群G7は、第1面側から順に、正屈折力の前群と、負屈折力の後群とを有するように構成されることが好ましい。この構成により、第7レンズ群G7全体としては小径化を達成しつつ、テレセントリック性を良好に維持できる。

【0018】本発明において、第2結像光学系を構成する光学材料は、互いに分散値の異なる少なくとも二種類の光学材料であることが好ましい。これにより、色収差の補正効果を向上できる。また、本発明において、第2結像光学系中の前記第5レンズ群G5は、高分散ガラスから構成される負レンズ成分と、低分散ガラスから構成される正レンズ成分とを含むように構成され、第2結像光学系中の前記第6レンズ群G6は、低分散ガラスから構成される正レンズ成分を含むように構成されることが好ましい。この構成により、色収差の補正効果をさらに向上できる利点がある。

【0019】更に、本発明では、以下の条件を満足することが好ましい。

$$0.4 < |Y0/Y1| < 1.2 \quad (1)$$

ここで、Y0は第1面上の物体の高さであり、Y1は前記第1結像光学系によって結像される前記中間像の高さである。以上の様な条件範囲とすることにより、無理なく光学系を構成することが可能となる。下限を超えると、第1結像光学系の縮小倍率が大きくなり、広範囲の露光が困難になる。また、上限を超えると、第1群の縮小倍率が小さくなり、凹面鏡を小型化するという本発明の目的から外れることになる。尚、下限を0.6、上限を1.0とすると、更に良い結果が得られる。

【0020】また更に、本発明では、以下の条件を満足することが好ましい。

$$1/10 < |\beta| < 1/2 \quad (2)$$

ここで、βは、全体の倍率である。以上の様な条件範囲とすることにより、前記条件(1)同様に、無理なく光学系を構成することが可能となる。下限を超えると、縮小倍率が大きくなり、広範囲の露光が困難になる。また、上限を超えると、光学系の縮小倍率が小さくなり、縮小投影露光装置とは言えなくなってしまう。ここで、下限を1/8とすると、更に良い結果が得られる。

【0021】また、本発明は、以下の条件を満たすことが望ましい。

$$P4 < 0 \quad (3)$$

ここで、P4は、第4レンズ群G4のベッツパール和である。もし、条件(3)を満足しないと、第4レンズ群G4に入射する光束に対し射出する光束が大きくなるため、第3レンズ群G3の各レンズが大型化するため、好ましくない。また更に、反射屈折光学系自体のベッツパール和が大きくなり、像面が平坦でなくなるので、好ましくない。

【0022】更に、本発明は、以下の条件を満たすことが望ましい。

$$P3 + P5 + P6 + P7 < 0 \quad (4)$$

ここで、P3は第3レンズ群G3のベッツパール和であり、P5は第5レンズ群G5のベッツパール和であり、P6は第6レンズ群G6のベッツパール和であり、P7は第7レンズ群G7のベッツパール和である。もし、条件(4)を満足しないと、反射屈折光学系全体の倍率が大きくなり、好適な縮小倍率が得られなくなるので、好ましくない。

【0023】また更に、本発明は、以下の条件を満たすことが望ましい。

$$|P3 + P4 + P5 + P6 + P7| < 0 \quad (5)$$

上記条件は、光学系の全構成要素のベッツパール和に関するものである。もし、条件(5)を満足しないと、像面がプラス側に湾曲するようになり、像面での平坦性がなくなるので、好ましくない。

【0024】そして、本発明は、以下の条件を満たすことが望ましい。

$$|P1 + P2| < 0 \quad (6)$$

ここで、P1は第1結像光学系を光線が透過する際の各要素のベッツパール和であり、P2は第2結像光学系のベッツパール和である。P1及びP2は、  
 $P1 = (2 \times P3) + P4 + P7$   
 $P2 = P5 + P6$

と表すことができる。もし、条件(6)を満足しないと、像面の平坦性がなくなるので、好ましくない。

【0025】

【実施例】以下、本発明による反射屈折光学系の実施例を図面を参照して説明する。以下に説明する各実施例は、レチクル上に形成されたパターンの像をレジストが塗布されたウェハ上に転写する露光装置の投影光学系に本発明を適用したものである。

【0026】まず、図1を参照して、本発明による反射屈折光学系の概略的な構成を説明する。図1において、光軸からの高さがY0で第1面上のレチクルRからの光束は、正の屈折力を有する第10レンズ群G10と負の屈折力を有する第11レンズ群G11と正の屈折力を有する第12レンズ群G12とを含む第3レンズ群G3を通過した後に、凹面鏡M1と前記第1面側に凹面を向けたメニスカス成分とを有する第4レンズ群G4に達する。第2実施例中では上述の第3レンズ群G3と第4レンズ群G4とで第1結像光学系G1を構成しているが、第1実施例中では、第1面上のレチクルRと第3レンズ群G3との間に、正の屈折力を有する第8レンズ群G8と負の屈折力を有する第9レンズ群G9とから構成される第7レンズ群G7が存在する。

【0027】ここで、第3レンズ群G3を通過した光束は、第4レンズ群G4に達する。この第4レンズ群G4に達した光束は、第4レンズ群G4中の凹面鏡M1によ

って反射され、再び第3レンズ群G3を通過して、光路偏向部材としての光路折曲げミラーM2へ向かう。この光路折曲げミラーM2は、第1結像光学系G1、第2結像光学系G2の光軸に対して45°で斜設されている。そして、第1結像光学系G1からの光束は、収斂光束となり、光路折曲げミラーM2の近傍にレチクルRの中間像をY1の高さで形成する。次に、光路折曲げミラーM2にて反射された光束は、第2結像光学系G2を構成する第5レンズ群G5及び第6レンズ群G6を順に介して、第2面上のウェハW上にレチクルRの2次像(中間像の像)を形成する。ここで、第5レンズ群G5と第6レンズ群G6との間には、開口絞りaが配置されている。

【0028】また、図2は、本発明による反射屈折光学系の別の配置を示す図である。尚、図2においては、図1と同様の機能を有する部材には同一の符号を付してある。図2において、図1の例とは異なる点は、第1面と第3レンズ群G3との間の光路中に、光路偏向部材としての光路折曲げミラーM0を配置した点である。ここで、光路折曲げミラーM0は第3レンズ群G3の光軸に対して45°で斜設されており、光路折曲げミラーM2に対して直交して設けられている。この構成により、第1結像光学系G1及び光路折曲げミラーM2を介した光束が第1面からの光束の進行方向と同方向となるため、第1面と第2面とを平行な配置とすることができる。この構成により、第1面及び第2面をそれぞれ保持し、かつそれぞれ走査させるための機構の構成が容易となる利点がある。

【0029】なお、図2において、光路折曲げミラーM0と光路折曲げミラーM2とを一体の部材で構成しても良い。この構成の場合には、互いに直交する光路折曲げミラーM0の反射面と光路折曲げミラーM2の反射面との加工が容易となり、この角度の維持が容易となる利点がある。また、一体に構成する場合には、光路折曲げミラーM0、M2の小型化を図ることができ、レンズの配置の自由度を向上させることができる利点がある。

【0030】また、図3は、本発明による反射屈折光学系のさらに別の配置を示す図である。なお、図3においては、図1と同様の機能を有する部材には同一の符号を付してある。図3において、図1の例とは異なる点は、第2結像光学系中の第5レンズ群G5と第6レンズ群G6との間に、第5レンズ群G5の光軸に対して(第6レンズ群G6の光軸に対して)45°で斜設された光路偏向部材としての光路折曲げミラーM0を配置した点である。この構成により、レンズ群G2から射出されて第2面に到る光束の進行方向が、第1面から第1結像光学系へ入射する光束の進行方向と同方向となるため、第1面と第2面とを互いに平行な配置とすることができる。この構成により、第1面及び第2面をそれぞれ保持し、かつそれぞれ走査させるための機構の構成が容易となる利

点がある。

【0031】また、図3の例では、第1結像光学系G1の第10レンズ群G10から光路折曲げミラーM<sub>2</sub>へ向かう光束の進行方向と、第2結像光学系G2中の光路折曲げミラーM<sub>3</sub>から第6レンズ群G6へ向かう光束の進行方向とを互いに逆方向とるように、光路折曲げミラーM<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>を配置しているため、反射屈折光学系自体をコンパクトに構成することができる。特に、この構成によれば、第1面と第2面との間隔を短くすることができる利点があり、露光装置全体のコンパクト化を図ること

【0032】更に、図2に示す実施例においては、第1面の法線と第2面の法線とが重力方向に対して直角をなすように配置することが好ましい。この様に配置すると、第1面、第2面及び最も精度が要求される凹面鏡M<sub>1</sub>が重力による非対称な変形を受けなくなるので、大型のフォトマスクやガラスプレートを用いて投影露光する際に有利になる。

【0033】また、図3に示す実施例においては、第1面及び第2面が水平方向となるように光学系を配置すると、重力によって非対称な変形を受ける光学素子が少なくなる。それ故、第1面及び第2面が水平方向で、第1面を第2面よりも上方となるように配置することが好ましい。特に、第2結像光学系中の第5レンズ群G5以外は非対称な変形を受けないため、この様な配置とすると、光学性能上非常に有利である。ここで、凹面鏡M<sub>1</sub>が水平に配置されているということは、殊更有效である。

【0034】また、上記各実施例では、凹面鏡M<sub>1</sub>付近又は第2結像光学系中（特に、第5レンズ群G5と第6レンズ群G6との間）に開口絞りを配置することが可能である。また、このとき、照明光学系の開口数NAと投影光学系の開口数NAとの比であるシグマ( $\sigma$ )値を、可変にすることも可能である。本実施例中では、機械的干渉が起こりにくい第2光学系に配置することが特に好ましい。

【0035】また、開口絞りを配置する代わりに、様々な特殊フィルターを配置することによって、焦点深度を深くすることが可能である。特殊フィルターの一例の図を示した図8を参照しながら説明する。下記の各数値実施例は、物体側及び像側がテレンセントリックな光学系となっていて、物体側の各点からの主光線はある光軸の一点で交わるようになっている。この様な状況で主光線が光軸と交わる一点を含む平面を、フーリエ変換面と呼び、特殊フィルターは、このフーリエ変換面に配置する。以下に示す各数値実施例では、凹面鏡M<sub>1</sub>付近又は第2結像光学系中にフーリエ変換面を設けることが可能

である。フーリエ変換面では、光軸から放れた特定の位置によって回折光の次数が決まる。光軸から離れるほど次数は高くなる。一般的な投影露光光学系は、0次及び1次の回折光を取り入れている。これより、図8(a)及び(b)に示す様に、0次光の成分が存在する半径 $r_1$ の光軸付近の領域FAと、半径 $r_1$ から半径 $r_2$ までの1次光（及びそれ以上の次数の回折光）が存在する開口部周辺付近の領域FBとに、フィルターの領域を分割する。

【0036】図8(c)に示す通り、同心円状に分割したフィルターは、中心部領域FAがS偏光のみを透過し、周辺部領域FBがP偏光のみを透過するように偏光膜を形成する。当然のことながら、中心部領域FAがP偏光、周辺部領域FBがS偏光のみを透過するようにしても構わない。また、このとき、中心部領域FAの屈折率が、周辺部領域FBの屈折率より低くなるようにする。

【0037】上記に示した構成により、特殊フィルターの周辺部領域FBを透過した光束は、焦点面で通常の結像を行う。一方、特殊フィルターの中心部領域FAを透過した光束は、屈折率が低いために、通常の焦点面よりレンズから遠ざかる位置に焦点を結ぶ。ここで、周辺部領域FBを透過した光束と中心部領域FAを透過した光束とは偏光状態が違うため、それぞれの光束が干渉することは無い。これにより、焦点深度を深くすることが可能となる。また、焦点深度を深くする技術としては、特開昭61-91662号公報、特開平5-234850号公報、特開平6-120110号公報、特開平6-124870号公報、特開平7-57992号公報及び特開平7-57993号公報等に開示された技術があり、それぞれ本発明に適用可能である。特に、この様な技術は、孤立パターンを形成するときに有効である。

【0038】ここで、凹面鏡M<sub>1</sub>付近に特殊フィルターを配置した場合、第2結像光学系の方に開口絞りを配置して、開口数を変化させることが可能である。また、第2結像光学系に特殊フィルターを配置し、凹面鏡M<sub>1</sub>付近に開口絞りを配置することも可能である。このように、本実施例中における反射屈折光学系は、開口絞りと特殊フィルターとを同一光学系中に分離して配置することができ、空間配置において有利である。

【0039】また、中間像を形成する場所に絞りを置けば、この絞りは、視野絞りとすることができる。各実施例の場合、第1結像光学系と第2結像光学系の間に、視野絞りを設けることが可能である。上記実施例では、図1から図3までに示すように、中間像のできる位置がミラーの付近となっている。このため、ミラーの付近に絞りを配置すればよい。絞りを配置する構成としては、例えば、図9に示す例がある。

【0040】視野絞りを設ける場合は、図9に示す例のごとく、光路折曲げミラーM<sub>2</sub>をなるべく第1結像光

光学系G1の第10レンズ群G10の近傍となるように配置する。これにより、中間像が形成される面が、光路折り曲げミラーM<sub>2</sub>近傍から第2結像光学系中の第5レンズ群G5よりとなる。この様な配置とすることにより、光路折り曲げミラーM<sub>2</sub>と第1結像光学系G1の第10レンズ群G10と視野絞り機能とが機械的干渉が起これにくくなる。そして、中間像を形成する面に、視野絞りSを配置する。視野絞りSが動くことにより、中間像のできる範囲が変化する。これにより、最終的に第2面上で像の形成される範囲が変化するようになる。

【0041】また、視野の大きさを変化させるものとして、特開昭57-192024号公報、特開昭60-30132号公報、特開昭60-45252号公報、実開昭62-124845号公報、米国特許第4,473,293号公報及び米国特許第4,474,463号公報等に開示された技術があり、それぞれ応用可能である。

【0042】上記のように、可動な遮光部材の場合に応じて動かすことにより視野絞りを達成する方法以外に、大きさの異なるミラー自体を交換することにより、視野絞りの代わりとすることができる。なお、図9に示す開口可変な視野絞りの形状は、四角形のみならず、円弧状及び四角以上の多角形状にも適用できることは言うまでもない。また、投影光学系中に視野絞りを配置することができるため、照明光学系に配置された所謂レチクルブラインドを無くすこと可能であることも言うまでもない。

【0043】次に、本発明の反射屈折光学系の数値実施例を説明する。以下の数値実施例においては、レンズ配置を図2及び図4に示すように、展開光路図で表す。展開光路図においては、反射面は透過面として表され、レチクルRからの光が通過する順に各光学要素が配列される。また、凹面反射鏡の反射面では、平面の仮想面を使用している。そして、レンズの形状及び間隔を表すために、例えば図2に示すように、レチクルRのパターン面を第0面として、レチクルRから射出された光がウェハWに達するまでに通過する面を順次第i面(i=1, 2, ...)としている。ここで、第i面の曲率半径r<sub>i</sub>の符号は展開光路図の中でレチクルRに対して凸面を向ける場合を正にとる。また、第i面と第(i+1)面との面間隔をd<sub>i</sub>とする。また、硝材として、SiO<sub>2</sub>は熔融石英を表し、CaF<sub>2</sub>は蛍石を表す。熔融石英及び蛍石の使用基準波長(193.0nm)に対する屈折率は次のとおりである。

熔融石英: 1.56019

蛍石: 1.50138

また、分散値1/νは、次の通りである。

合成石英: 1780

蛍石: 2550

但し、実施例中での分散値は、使用基準波長(193.0nm)に対する±0.1nmの分散値である。

【第1実施例】図2を参照して本発明による第1実施例

を説明する。図2は第1実施例における反射屈折光学系の展開光路図である。

【0044】図2に示す各レンズ群のレンズ構成について説明すると、第7レンズ群G7は、レチクルR側から順に、第8レンズ群G8である両凸形状の正レンズL<sub>1</sub>と第9レンズ群G9である両凹形状の負レンズL<sub>2</sub>とから構成される。第7レンズ群G7に続いて配置される第3レンズ群G3は、第10レンズ群G10である両凸形状の正レンズL<sub>3</sub>と、第11レンズ群G11であるレチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>4</sub>と、第12レンズ群G12である両凸形状の正レンズL<sub>5</sub>とから構成される。更に、第3レンズ群G3に続いて配置される第4レンズ群G4は、レチクルR側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>6</sub>と凹面鏡M<sub>1</sub>とから構成される。

【0045】ここで、レチクルRからの光束は、第8レンズ群G8、第9レンズ群G9、第10レンズ群G10、第11レンズ群G11、第12レンズ群G12、第4レンズ群G4、第12レンズ群G12、第11レンズ群G11、第10レンズ群G10を順に經由して、第3レンズ群G3と第7レンズ群G7との間にレチクルRの中間像を形成する。

【0046】第5レンズ群G5は、この中間像側から順に、屈折力の弱い両凸形状の正レンズL<sub>7</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>8</sub>と、両凹形状の負レンズL<sub>9</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>10</sub>と、両凹形状の負レンズL<sub>11</sub>と、中間像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>12</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>13</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>14</sub>とから構成される。

【0047】また、この第5レンズ群G5に続いて配置される第6レンズ群G6は、中間像側から順に、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズL<sub>15</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズL<sub>16</sub>と、中間像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>17</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>18</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>19</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L<sub>20</sub>と、屈折力の弱い両凹形状の負レンズL<sub>21</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>22</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズL<sub>23</sub>とから構成される。

【0048】以下の表1に本実施例の諸元の値を掲げる。本実施例において、全系の倍率は1/4倍(縮小)であり、ウェハW側の開口数NAは0.57である。そして、図1に示す如く、本実施例の反射屈折光学系は、レチクルR上における露光領域は、縦方向が光軸Axからの物体高の範囲が52から76までの長さ24で、横方向が120の矩形形状である。

【0049】なお、表1に示す本実施例においては、光路折り曲げミラーM<sub>2</sub>は、第7面と第28面とに位置す

(8)

特開平8-334695

13

14

る。また、表1では、凹面鏡M<sub>1</sub>は第18面に相当する。本実施例中において第17面(仮想面)と第18面とを反射面(屈折率=-1)とすることで、図3に示す展開光路図を作成可能とした。

【0050】

【表1】

d<sub>0</sub> = 100.000

	r	d	硝材
	1	608.570	40.000 CaF <sub>2</sub>
	2	-535.784	35.737
	3	-767.542	15.000 SiO <sub>2</sub>
	4	583.270	35.000
	5	0.000	20.000 仮想面
10	6	0.000	15.000 仮想面
	7	0.000	67.394 仮想面
	8	1932.142	40.000 CaF <sub>2</sub>
	9	-501.972	223.395
	10	2599.069	15.000 SiO <sub>2</sub>
	11	491.076	123.036
	12	883.255	30.000 SiO <sub>2</sub>
	13	-2160.911	187.657
	14	0.000	160.860 仮想面
	15	-281.482	15.000 SiO <sub>2</sub>
20	16	-3684.750	70.000
	17	0.000	0.000 仮想面
	18	441.367	70.000 凹面鏡 M <sub>1</sub> に相当
	19	3684.750	15.000 SiO <sub>2</sub>
	20	281.483	160.860
	21	0.000	187.657 仮想面
	22	2160.911	30.000 SiO <sub>2</sub>
	23	-883.255	123.036
	24	-491.076	15.000 SiO <sub>2</sub>
	25	-2599.068	223.395
30	26	501.972	40.000 CaF <sub>2</sub>
	27	-1932.142	67.394
	28	0.000	15.000 仮想面
	29	0.000	20.000 仮想面
	30	0.000	80.000 仮想面
	31	3884.731	30.000 SiO <sub>2</sub>
	32	-1381.698	0.100
	33	391.241	30.000 CaF <sub>2</sub>
	34	-352.648	5.000
	35	-340.120	24.000 SiO <sub>2</sub>
40	36	348.160	11.200
	37	6861.792	24.000 SiO <sub>2</sub>
	38	490.913	10.907
	39	865.932	30.000 CaF <sub>2</sub>
	40	-440.248	3.766
	41	-326.951	35.000 SiO <sub>2</sub>



15		
42	-669.448	0.100
43	490.606	35.000
44	-3123.854	672.921
45	681.761	40.000
46	-8251.041	8.000
47	0.000	8.000
48	596.576	45.000
49	664.912	1.260
50	276.060	72.842
51	12512.845	18.900
52	-523.686	106.927
53	-728.219	0.513
54	704.707	33.464
55	-2768.356	0.367
56	154.151	69.820
57	131.256	12.825
58	148.970	44.938
59	1416.567	4.200
60	-1306.088	22.680
61	6140.209	1.920
62	1077.774	30.410
63	604.397	2.252
64	326.875	29.808
65	5403.630	15.000

条件対応値を以下に示す。

- (1)  $|Y0/Y1| = 0.97$
- (2)  $|\beta| = 0.25$
- (3)  $P4 = -0.00689$
- (4)  $P3 + P5 + P6 + P7 = 0.00608$
- (5)  $|P3 + P4 + P5 + P6 + P7| = -0.00081$
- (6)  $|P1 + P2| = 0.00000$

図3(a)は第1実施例の縦収差図であり、図3(b)は第1実施例の倍率色収差図、図3(c)は第1実施例の横収差図である。各収差図中において、NAは開口数を表し、Yは像高を表す。また、符号J、P及びQは、波長がそれぞれ193.0nm、192.9nm及び193.1nmであることを示す。そして、図3(a)において、球面収差中において、破線は正弦条件違反量を表し、非点収差中においては、破線はメリジオナル像面、実線はサジタル像面をそれぞれ表す。図3(c)に示す横収差図において、各コマ収差図中の上部に記載される数字は、物体高を表し、特に、RANDは物体高0のときを表している。

【0051】図3(a)～(c)に示す諸収差図より、本実施例では、0.57という大きな開口数NAでありながら、広い領域において諸収差が良好に補正されていることが分かる。また、図3(a)～(c)に示す諸収差図より、本実施例では、波長幅0.1nmの範囲において軸上及び倍率の色収差も良好に補正されていることが分かる。

【第2実施例】図4を参照して本発明による第2実施例を説明する。図4は第2実施例による反射屈折光学系の展開光路図である。

【0052】図4に示す各レンズ群のレンズ構成について説明すると、レチクルR側から順に、第10レンズ群G10、第11レンズ群G11、第12レンズ群G12から構成される。ここで、第10レンズ群G10は、両凸形状の正レンズL<sub>10</sub>と、両凹形状の負レンズL<sub>11</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>12</sub>と、レチクルR側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>13</sub>から構成される。また、第11レンズ群G11は、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>14</sub>である。第12レンズ群G12は、両凸形状の正レンズL<sub>15</sub>と、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>16</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>17</sub>とから構成される。更に、第3レンズ群G3に続いて配置される第4レンズ群G4は、レチクルR側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>18</sub>と凹面鏡M<sub>1</sub>とから構成される。

【0053】ここで、レチクルRからの光束は、第10レンズ群G10、第11レンズ群G11、第12レンズ群G12、第4レンズ群G4、第12レンズ群G12、第11レンズ群G11、第10レンズ群G10を順に經由して、第3レンズ群G3とレチクルRとの間にレチクルRの中間像を形成する。第5レンズ群G5は、この中間像側から順に、中間像に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>19</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>20</sub>と、両凹形状の負レンズL<sub>21</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>22</sub>と、中間像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>23</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>24</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>25</sub>ととから構成される。

【0054】また、この第5レンズ群G5に続いて配置される第6レンズ群G6は、中間像側から順に、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズL<sub>26</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>27</sub>と、両凹形状の負レンズL<sub>28</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズL<sub>29</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>30</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L<sub>31</sub>と、中間像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL<sub>32</sub>と、両凸形状の正レンズL<sub>33</sub>と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズL<sub>34</sub>とから構成される。また、このとき、開口絞りaは、第5レンズ群G5と第6レンズ群G6との間に配置される。

【0055】以下の表2に本実施例の諸元の値を掲げる。本実施例において、全系の倍率は1/4倍(縮小)であり、ウェハW側の開口数NAは0.57である。本実施例の反射屈折光学系は、レチクルR上における露光領域は、縦方向が光軸Axからの物体高の範囲が4.8から7.2までの長さ2.4で、横方向が120の矩形状である。

【0056】なお、表2では、凹面鏡M<sub>1</sub>は第20面に

17

18

相当する。本実施例中において第19面（仮想面）と第20面とを反射面（屈折率=-1）とすることで、図5に示す展開光路図を作成可能とした。

【0057】

【表2】

 $d_0 = 218.470$ 

	r	d	n
10	1	269.428	60.000
	2	-309.838	5.000
	3	-287.784	15.000
	4	298.252	31.810
	5	319.859	60.000
	6	-267.967	4.500
	7	-273.316	20.000
	8	-714.458	113.482
	9	1247.366	16.200
	10	358.307	83.901
20	11	1886.366	25.920
	12	-409.348	19.000
	13	-191.202	20.000
	14	-460.687	15.474
	15	402.149	33.000
	16	-903.948	201.807
	17	-197.350	15.000
	18	231563.902	20.000
	19	0.000	0.000
	20	314.319	20.000
30	21	231563.902	15.000
	22	197.350	201.807
	23	903.948	33.000
	24	-402.149	15.474
	25	460.687	20.000
	26	191.202	19.000
	27	409.348	25.920
	28	1886.369	83.901
	29	-358.307	16.200
	30	-1247.366	113.482
40	31	714.458	20.000
	32	273.316	4.500
	33	267.967	60.000
	34	-319.859	31.810
	35	-298.252	15.000
	36	287.784	5.000
	37	309.838	60.000
	38	-269.428	183.470
	39	-227.267	20.000
	40	-391.496	3.645
	41	617.033	45.000

仮想面

凹面鏡  $M_1$  に相当 $SiO_2$  $SiO_2$  $SiO_2$  $CaF_2$  $SiO_2$  $SiO_2$  $CaF_2$  $SiO_2$  $CaF_2$  $CaF_2$  $SiO_2$

		19	
42	-292.147	46.222	
43	-259.118	15.000	SiO <sub>2</sub>
44	408.199	18.785	
45	1461.463	45.000	CaF <sub>2</sub>
46	-250.187	7.000	
47	-223.680	18.000	SiO <sub>2</sub>
48	-526.047	56.717	
49	936.544	45.000	CaF <sub>2</sub>
50	406.507	590.310	
51	795.462	29.000	SiO <sub>2</sub>
52	-1984.285	10.000	
53	0.000	10.000	開口絞り a
54	230.009	32.805	SiO <sub>2</sub>
55	1447.955	5.000	
56	613.320	35.000	CaF <sub>2</sub>
57	-1494.241	7.137	
58	-694.448	40.000	SiO <sub>2</sub>
59	478.128	5.000	
60	372.847	48.067	CaF <sub>2</sub>
61	2287.239	0.100	
62	100.159	42.562	SiO <sub>2</sub>
63	80.943	9.000	
64	86.320	28.964	SiO <sub>2</sub>
65	1884.561	4.000	
66	-401.131	17.580	SiO <sub>2</sub>
67	-2761.121	0.100	
68	508.419	21.383	SiO <sub>2</sub>
69	-577.558	0.100	
70	647.419	15.000	SiO <sub>2</sub>
71	3939.247	15.000	

条件対応値を以下に示す。

- (1)  $|Y0/Y1| = 0.97$
- (2)  $|\beta| = 0.25$
- (3)  $P4 = -0.01$
- (4)  $P3 + P5 + P6 + P7 = 0.00855$
- (5)  $|P3 + P4 + P5 + P6 + P7| = -0.00145$
- (6)  $|P1 + P2| = 0.00001$

図5(a)は第2実施例の縦収差図であり、図5(b)は第2実施例の倍率色収差図、図5(c)は第2実施例の横収差図である。各収差図中において、NAは開口数を表し、Yは像高を表す。また、符号J、P及びQは、波長がそれぞれ193.0nm、192.9nm及び193.1nmであることを示す。そして、図5(a)において、球面収差中において、破線は正弦条件違反量を表し、非点収差中においては、破線はメリジオナル像面、実線はサジタル像面をそれぞれ表す。図5(c)に示す横収差図において、各コマ収差図中の上部に記載される数字は物体高を表し、特に、RANDは物体高0のときを表している。

【0058】図5(a)～(c)に示す諸収差図より、本実

施例では、0.57という大きな開口数NAでありながら、広い領域において諸収差が良好に補正されていることが分かる。また、図5(a)～(c)に示す諸収差図より、本実施例では、波長幅0.1nmの範囲において軸上及び倍率の色収差も良好に補正されていることが分かる。

【0059】以上の通り、本発明による各実施例によれば、非常に大きな開口数でありながら、凹面鏡M<sub>1</sub>が小さく、広い露光領域において諸収差が良好に補正された反射屈折光学系を提供することが可能である。そして、第1実施例中では、凹面鏡M<sub>1</sub>は、直径を330程度とすることができる。第2実施例中では、凹面鏡M<sub>1</sub>は、直径を210程度とすることができる。また、各実施例の屈折レンズの直径についても、小型化することが可能となっている。

【0060】また、上述の各実施例では、光路偏向手段としての光路折曲げミラーM<sub>2</sub>が第1結像光学系G1が形成する中間像の近傍に配置される構成であるため、光路折曲げミラーM<sub>2</sub>に対する第1及び第2結像光学系G1、G2の偏心誤差の影響を少なくできる。また、上記各実施例では、光路折曲げミラーM<sub>2</sub>の反射面に達する光束の径が小さくなるため、光路折曲げミラーM<sub>2</sub>自体の小型化を図ることができる。従って、光路折曲げミラーM<sub>2</sub>による光束の遮蔽を少なくできるため、露光領域の拡大化を達成できる利点もある。

【0061】さらに、各実施例では、光路折曲げミラーM<sub>2</sub>によって、第1結像光学系G1からの光束を90°偏向させた後に第2結像光学系G2へ導く構成としているため、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との偏心調整が容易に行なえる利点がある。また、各実施例においては、第2結像光学系G2中の第5レンズ群G5と第6レンズ群G6との間に開口絞りaを配置できるため、この開口絞りaを開口径可変となるように構成すれば、NA可変（或いはσ可変）による露光をも達成できる。

【0062】尚、上述の第1及び第2実施例の光路折曲げミラーM<sub>1</sub>の代わりに、ビームスプリッタを用いる構成をとる場合には、レチクルR上の光軸Axからの物体高が0～72の範囲内（第1実施例では～76の範囲内まで使用可能）を用いる一括露光を行うこともできる。

【0063】

【発明の効果】以上の通り本発明によれば、凹面鏡の口径の小型化をも達成することができ、なお且つ、作動距離を十分に確保したうえで高い開口数を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本的な光学系の構成の概略を示す平面図である。

【図2】本発明の別の態様の構成の概略を示す平面図である。

【図3】本発明の別の態様の構成の概略を示す平面図で

ある。

【図4】本発明の第1実施例による反射屈折光学系の展開光路図である。

【図5】第1実施例による反射屈折光学系の諸収差図である。

【図6】本発明の第2実施例による反射屈折光学系の展開光路図である。

【図7】第2実施例による反射屈折光学系の諸収差図である。

【図8】実施例における特殊フィルターの一例を示した図である。

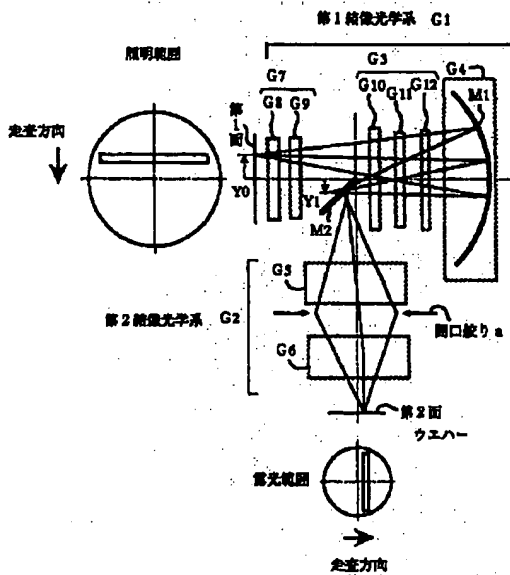
【図9】実施例における視野絞りの一例を示した図であ

る。

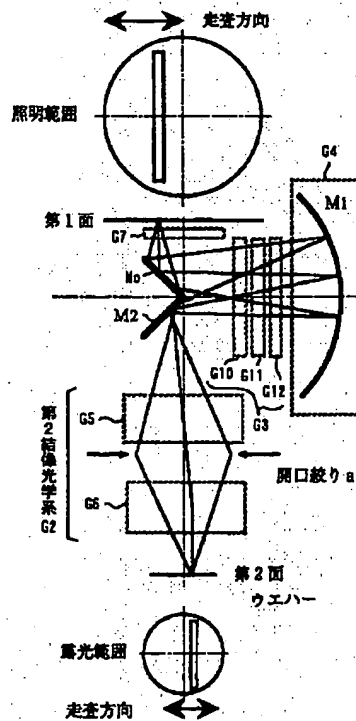
【符号の説明】

- G1 … 第1結像光学系、  
 G2 … 第2結像光学系、  
 G3 … 第3レンズ群、  
 G10 … 第10レンズ群、  
 G11 … 第11レンズ群、  
 G12 … 第12レンズ群、  
 M1 … 凹面鏡、  
 M2 … 光路折曲げミラー（光路偏向部材）、  
 R … レチクル（第1面）、  
 W … ウェハ（第2面）、

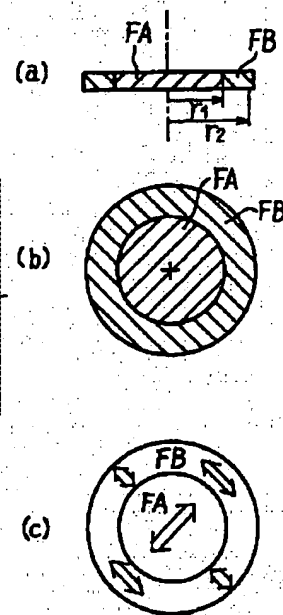
【図1】



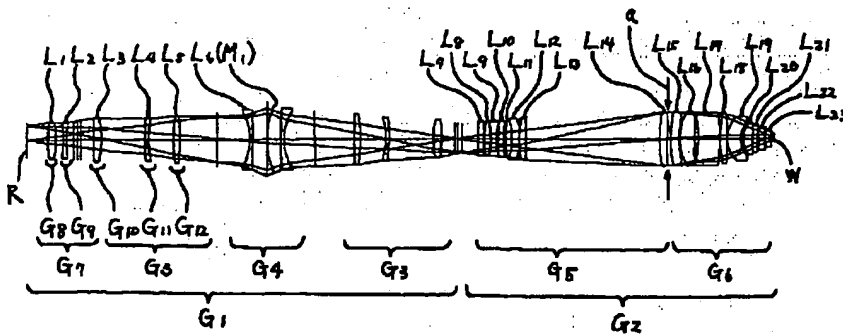
【図2】



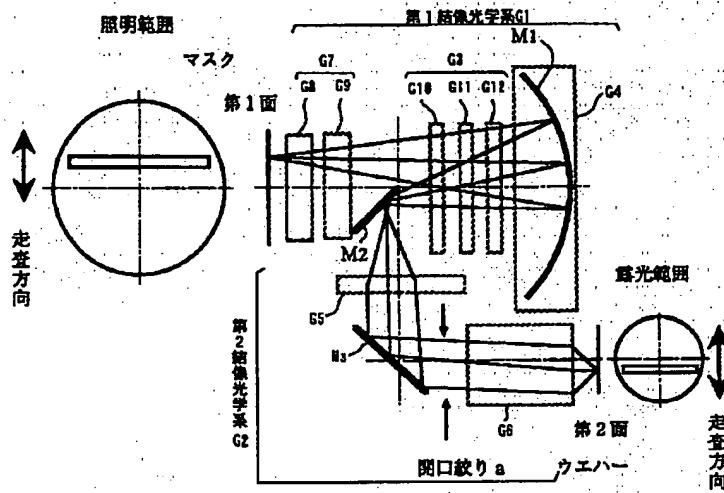
【図8】



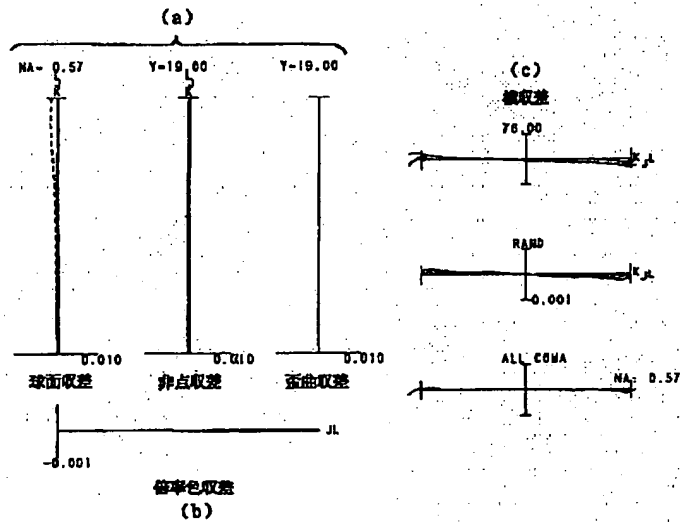
【図4】



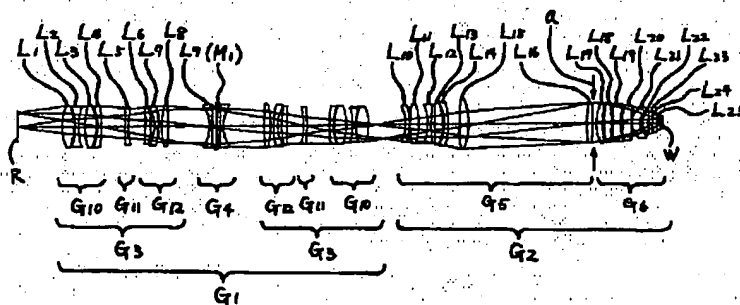
【図3】



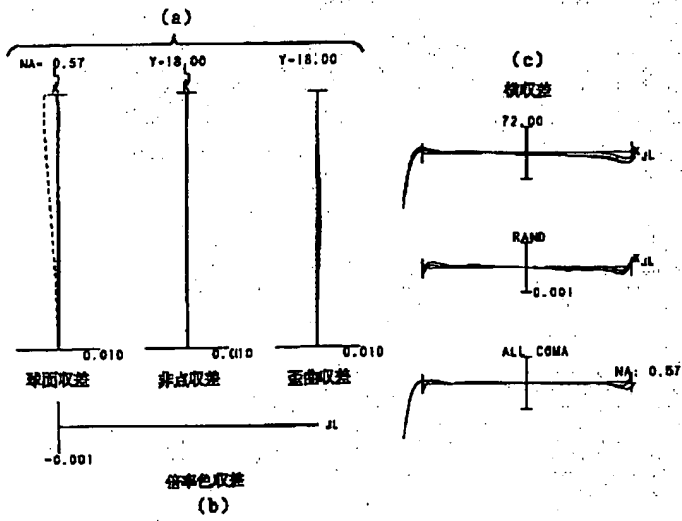
【図5】



【図6】



【図7】



【図9】

